

# 광 리소그래피를 이용한 다중 위상 홀로그래프의 제작

正會員 강 봉 균\*, 서 호 형\*\*, 이 덕 희\*\*, 김 남\*\*\*

## Fabrication of Multi-Phase Holograms Using Photo-Lithography

Bong-Gyun Kang\*, Ho-Hyung Suh\*\*, Duck-Hee Lee\*\*, Nam Kim\*\*\* *Regular Members*

### 요 약

광정보처리와 광연결에 널리 사용되는 위상홀로그래프를 제작하기 위해서는 정확한 위상을 갖게 하는 것이 매우 중요하다. 본 논문에서는 광 리소그래피 방식에 의한 위상 홀로그래프의 제작 시 요구되는 위상을 얻기 위한 방법으로 회절빔의 0차 세기와 홀로그래프의 위상과의 관계를 도입하였고, 이를 이용하여 위상이 각각  $\pi$ 와  $\pi/2$ 인 이진 위상 홀로그래프를 제작하였다. 이 두 홀로그래프를 결합하여 다중 위상 홀로그래프를 구현함으로써 이진 위상 홀로그래프에서 재생되는 불필요한 영상을 제거할 수 있었다.

### ABSTRACT

It is very crucial to make the phase holograms have the exact phase difference in the fabrication process. We have developed a fabrication criterion of obtaining the exact phase difference of the holograms by using the relation between the zeroth order intensity of diffracted beam and the relative phase difference of the fabricated holograms. We have fabricated holograms having phases of  $\pi$  and  $\pi/2$ , respectively, and we could get multi-phase holograms by combining these two binary phase holograms.

### I. 서 론

빛을 이용한 정보처리에 있어서 핵심이 되는 기술은 정보를 저장하고, 정보를 원하는 곳으로 보내며 조절하는 것이다. 홀로그래프나 회절격자와 같이 주기 구조를 갖는 매질에서의 광파의 회절에 관한 연구

는 집적광학, 광정보저장, 광정보처리, 공간 및 파장 분할 다중화, 광분파기, 광 배선 등의 매우 다양한 응용과 학술적인 가치로 인하여 많이 연구되고 있다.

최근 스칼라 회절이론과 푸리에 광학에 기초한 주기 구조를 갖는 이진 위상 홀로그래프는 다양한 설계 알고리즘과 컴퓨터의 도움으로 쉽게 설계할 수 있어서 광메모리, 광연결 등 광정보처리 분야에서 매우 유용하게 이용되고 있다. [1]-[5] 이진 위상 홀로그래프를 설계하기 위한 방법으로는 여러 가지가 연구되어 있지만[3], [5] 설계된 홀로그래프를 얼마나 정확히 제작

\*한국정보통신 대학원 통신공학부

\*\*한국전자통신연구원 기초기술연구부

\*\*\*충북대학교 정보통신공학과

論文番號: 97351-0930

接受日字: 1997年 9月 30日

하느냐가 매우 중요하다. 특히 이진 위상 홀로그램의 경우 위상차가  $\pi$ 가 되도록 정확하게 제작하지 않으면 0차 회절빔의 세기가 상대적으로 증가되어 회절빔의 세기가 설계값과 다르게 된다. 또한 결합형 위상 홀로그램(Combined Binary Phase Hologram:CBPH)인 경우는 두개의 이진 위상 홀로그램을 제작한 후 결합하여 다중 위상 홀로그램을 형성하여 효율을 높일 뿐만 아니라 이진 위상 홀로그램에서 재생되는 특정 부분의 영상을 효과적으로 제거할 수 있다. [5] CBPH 경우에는 정확한 위상차  $\pi$ 와  $\pi/2$ 인 두개의 위상 홀로그램의 제작이 요구된다.

위상 홀로그램을 제작하는 과정은 먼저 홀로그램을 설계하고 전자빔 리소그라피에 의해 진폭 투과형 포토마스크를 만든다. 다음 쿼츠기판 위에 포토레지스터를 스핀 코팅하고, 그 위에 제작된 포토마스크를 밀착시킨 후 노광하고 현상하는 과정으로 위상 홀로그램을 만든다. 본 논문에서는 위상 홀로그램 제작에 적합한 최적의 다중 위상 제작 조건을 구하는 방법을 제시하였고, 또한 이것으로 CBPH를 제작하여 역대칭상 또는 불필요한 부분을 제거하는 실험과 그 결과를 나타내었다.

## II. 이진 위상 홀로그램

이차원 위상 홀로그램의 위상 투과 함수를  $g(x, y)$ 라 하고 이것의 푸리에 변환을  $G(m, n)$ 이라 하면 이 홀로그램의 파장이  $\lambda$ 인 레이저 빔과 조점거리가  $f$ 인 푸리에 변환렌즈에 의한 초평면에서 회절된 영상은 스칼라 회절이론에 의하여 다음과 같이 나타낸다.

$$I(\alpha, \beta) = \left( \frac{1}{\lambda f} \right)^2 \left| \iint g(x, y) \exp \left[ -i \frac{2\pi}{\lambda f} (x\alpha + \beta y) \right] dx dy \right|^2 \quad (1)$$

$$= \left( \frac{1}{\lambda f} \right)^2 \left| G(m, n) \right|_{m=\alpha/\lambda f, n=\beta/\lambda f}^2$$

다중 위상의 회절격자는 위상이 0,  $\pi$ 인 이진 위상 회절격자에 공간 주파수가 2배이고 위상이 0 또는  $\pi/2$ 가 되는 회절격자를 결합시켜 만들 수 있고 위와 같은 개념을 2차원의 이진 위상 홀로그램에 확장시켜 CBPH를 만들 수 있다. 위상 투과 함수가  $g_1(x, y)$ 와  $g_2(x, y)$ 인 두개의 이차원 이진 위상 홀로그램 BPH1

과 BPH2을 고려하자. 각 홀로그램의 한 주기는  $K \times L$ 개의 직사각형 셀로 나누고, 셀들은 입력파에 대하여 BPH1의 경우는 0 또는  $\pi$  그리고 BPH2의 경우는 0 또는  $\pi/2$ 의 위상지연을 갖는다. 이 두개의 위상 홀로그램을 결합시키면 새로운 위상 함수  $g(x, y)$ 는 다음과 같이 두 위상 함수의 곱으로 나타낼 수 있다.

$$g(x, y) = g_1(x, y) g_2(x, y)$$

$$= \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} \exp(i\phi_{k,l}) \text{rect} \left( \frac{x-k/K}{1/K}, \frac{y-l/L}{1/L} \right) \quad (2)$$

이때  $\phi_{k,l}$ 은 홀로그램의  $(k, l)$ 번째 셀의 위상을 나타낸다. 홀로그램이 주기 함수이기 때문에 홀로그램의 투과 함수  $g(x, y)$ 는 다음과 같이 푸리에 전개(Fourier expansion)를 할 수 있다.

$$g(x, y) = \sum_{m=-\infty}^{\infty} \sum_{n=-\infty}^{\infty} G(m, n) \exp[2\pi i(mx + ny)] \quad (3)$$

$$G(m, n) = \int_0^1 \int_0^1 g(x, y) \exp[-2\pi i(mx + ny)] dx dy \quad (4)$$

여기서  $G(m, n)$ 은 출력면에서의 회절빔의 진폭을 나타내고  $G(m, n)$ 과  $g(x, y)$ 는 푸리에 변환 관계에 있으며 출력면, 즉 푸리에 평면에서의 회절빔의 세기는 에 비례한다.

또한 식(2)를 식(4)에 대입하여 전개하면 다음과 같은 식이 얻어진다.

$$G(m, n) = \frac{1}{KL} \Phi(m, n) \text{sinc} \left( \frac{m}{K}, \frac{n}{L} \right) \sum_{k=0}^{K-1} \sum_{l=0}^{L-1} \exp(i\phi_{k,l}) \exp \left( -2\pi i \left[ \frac{mk}{K} + \frac{nl}{L} \right] \right) \quad (5)$$

여기서  $\text{sinc}(x) = \sin(\pi x) / \pi x$ 이고  $\Phi(m, n)$ 은 회절빔의 세기에 무관한 위상값이다.

## III. 위상 홀로그램의 제작

실험에 사용된 홀로그램은 한 주기를  $128 \times 128$ 개의 셀로 나누어 설계를 하였으며, 한 셀의 크기를  $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 로 하였다. 따라서 홀로그램 한 주기의 크기는  $128\mu\text{m} \times 128\mu\text{m}$ 이며 이것을 복사하여  $80 \times 80$ 개로 하여 실제의 크기는  $10.24\text{mm} \times 10.24\text{mm}$ 가 되게

하였다. 홀로그래프의 제작 과정은 컴퓨터로 설계하고 전자빔 리소그래피(electro-beam lithography)에 의해 진폭 투과형 포토마스크를 만들었다. 위상형 홀로그래프는 퀴츠(quartz) 기판 위에 포토레지스트(Photo Resist: PR)를 스핀 코팅하고 그 위에 포토마스크를 밀착시킨 후 노광하고 현상하는 과정으로 이루어진다.[6]

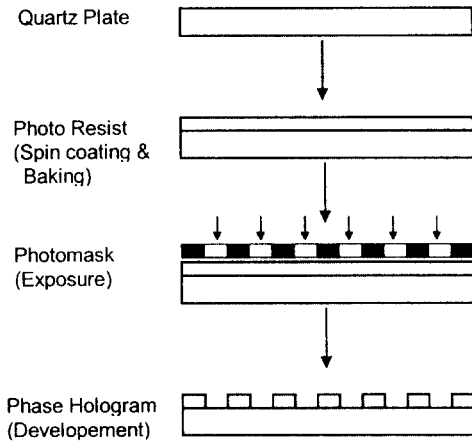


그림 1. 광 리소그래피에 의한 위상홀로그래프의 제작 과정도.  
Fig 1. Fabrication steps of phase holograms by using the contact photo-lithography

홀로그래프의 제작 과정에서 중요한 요소로는 PR의 두께, PR의 굴절률, sample의 baking time과 온도, 노광 시간, 현상시간 등 여러 가지가 있을 수 있으며 그 중에서 위상차에 관련하여 결정적인 영향을 미치는 요소가 PR의 두께이다. 예를 들어  $\phi$ 의 위상차를 갖게 하는 PR의 두께  $d$ 는 다음과 같은 수식으로 나타내어진다.

$$d = \frac{\lambda \phi}{2(n-1)\pi} \quad (n: \text{PR의 굴절률}, \lambda: \text{파장}) \quad (6)$$

마이크로 광 리소그래피 기술이 위상 홀로그래프 제작에 사용되었다. 컴퓨터 발생 홀로그래프(computer generated hologram: CGH) 패턴이 전자빔 리소그래피를 이용한 진폭패턴으로 크롬이 입혀진 퀴츠 마스크 위에 새겨진다. 광 마스크에 새겨진 이 패턴은 밀착 광 리소그래피 방법에 의해 포토레지스트 퀴츠 위에 표면 relief 방식 위상패턴으로 변환된다. 포토레지스트

는 퀴츠 기판 위에 균일하게 스핀 코팅되며 상대위상 변조는 포토레지스트 층의 두께에 의해 주로 좌우된다. 두께는 스핀코터의 속도와 포토레지스트의 상태로 조절된다. 정확한 이진 위상 홀로그래프를 제작하기 위해, 상대 위상차  $\Delta\phi$ 는 다음과 같이  $(2k-1)\pi$ 가 되어야 한다.

$$\Delta\phi = \frac{2\pi}{\lambda} d(n-1) = (2k-1)\pi \quad (7)$$

여기서  $d$ 는 코팅된 포토레지스트의 두께이고  $n$ 은 포토레지스트의 굴절률,  $\lambda$ 는 파장 그리고  $k$ 는 정수이다. 반면에 0차 세기  $I(0, 0)$ 는 상대 위상차와 관련된다.

본 논문에서는 PR의 두께를 직접 측정하는 대신에 회절 빔의 0차 빔과 위상과의 관계식으로부터 정확한 위상차가 되는 조건을 구한다. 이론적으로 0차 빔의 세기와 위상과의 관계식은 다음과 같이 나타내어진다.

$$|G(0, 0)|^2 = \left| \frac{1}{KL} \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^N \exp(j\phi_{k,j}) \right|^2 \quad (8)$$

목표세기가 0일 때 홀로그래프의 위상이  $\pi$ 인 셀의 수와 위상이 0인 셀의 수가  $(KL)/2$ 로서 거의 같다. 다음 식은 식 (7)로부터 간단한 연산 후 유도된다.

$$|G(0, 0)|^2 = \frac{1 + \cos(\Delta\phi)}{2} = \begin{cases} 0, & \text{if } \Delta\phi = \pi \\ \text{nonzero}, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

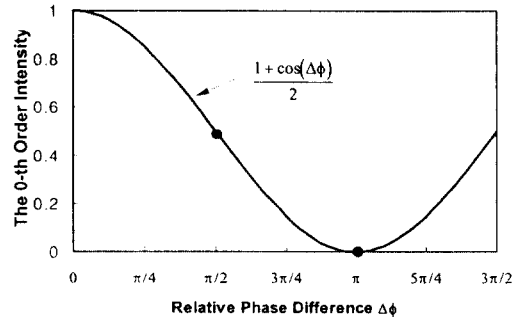


그림 2. 이진 위상 홀로그래프의 위상차에 따른 0차 빔의 세기의 변화도.

Fig 2. The zeroth order intensity versus the phase difference of the hologram.

그림 2는 홀로그래프의 위상차에 따른 회절빔의 0차 세기의 관계를 보여주고 있다. 홀로그래프의 제작시 스피너 코터(spin coator)의 회전속도나 PR의 농도를 조금씩 바꾸어 주면서 제작된 홀로그래프의 0차 빔의 세기를 측정하고 이 값이 최저가 되는 조건에서 위상차  $\pi$ 를 갖는 홀로그래프 BPH1이 얻어진다. 같은 방법으로 0차 빔이 입력빔의 절반이 되는 조건에서  $\pi/2$ 의 위상을 갖는 홀로그래프 BPH2가 얻어진다. 이 방법은 직접 포토레지스트의 두께와 굴절률 등을 직접 측정할 필요가 없다는 점에서 매우 간단하다.

#### IV. 실험결과 및 토의

위상 홀로그래프를 제작하기 위한 구체적인 과정은 다음과 같이 진행된다. 우선 PR이 입혀지는 기판은 직경 1인치의 쿼츠 기판이나 2.5cm x 2.5cm크기로 절단된 슬라이드를 준비하고 세척을 하게 되는데 먼저 아세톤, 메탄올, 증류수 순서로 깨끗하게 세척한다. 세척과정이 끝나면 100~140도의 hot plate에서 적당한 시간동안 건조를 시켜 수분을 제거하고 air sprayer로 온도를 식히는 동시에 먼지를 제거한다. 세척과 건조가 끝난 기판위에 스피너코터를 이용해 PR를 코팅하게 되는데 조건을 잡기 위해 rpm를 2500에서 5500까지 각 간격을 250 rpm으로 조정하고 회전시간은 30초로 지정하여 시료를 코팅하였다.

코팅 된 기판은 hot plate에서 100℃에서 60초 동안 가열하여 PR층을 경화시킨 후 contact aligner 장비를 통해서 포토마스크를 기판을 밀착시켜서 노광시킨다. 여기서 노광 시간은 일정하게 고정시키고 가능한 완전한 밀착이 되게 조절한다. 최종적으로 현상과정을 거쳐 PR층을 위상 홀로그래프로 변환시킨다.

본 실험에서 스피너 코터의 RPM을 2500rpm에서 5500rpm까지 적당한 간격으로 변화시키면서 제작된 위상 홀로그래프의  $I(0, 0)$ 를 측정한 결과로 4750~4800 rpm에서  $\pi$ 조건을 찾을 수 있었다. 그러나 스피너 코터의 RPM의 변화가 PR 두께에 변화를 주어 결과적으로 얻어지는 위상차는 20%이하로  $I(0, 0)$ 의 변화가 15%를 넘지 못한다. 하지만  $\pi/2$ 의 위상차를 얻기 위해서는 50%의 위상차의 변화가 있어야 된다. 이 경우 PR의 두께가 상당히 얇아져야 하기 때문에 PR을 solvent에 희석시켜 점도를 줄이는 방법을 사용하였

다. 이번에는 RPM을 고정시키고 희석액의 비율을 조금씩 바꾸어 주면서 실험한 결과 RPM 4000의 경우 PR과 희석액의 비율이 9대 1일때 회절빔의 0차 세기가 입력빔의 50%를 얻을 수 있었고, 8대2로 희석할 경우 82%정도 얻을 수 있었다. 따라서 PR의 농도 변화는 큰폭의 위상차를 얻을 수 있고 RPM의 변화는 위상차의 변화폭은 적지만 미세조정을 하는데 사용할 수 있다. 회절빔의 0차 빔을 측정하면서 이 두가지의 방법을 적절히 조합시키면 원하는 모든 경우의 위상을 얻을 수 있다.

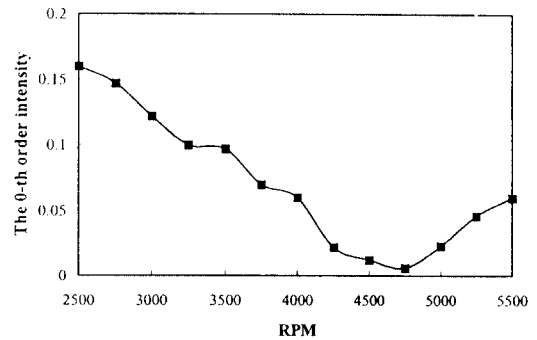


그림 3. RPM에 따른 제작된 홀로그래프의 0차 빔의 세기값.  
Fig 3. The zeroth order intensity of the fabricated hologram for the various RPM.

광 리소그래피 장비에는 노광 방법에 따라 contact aligner, stepper, projection 형태 등이 있으며 본 논문의 실험에서는 최소 선 폭 1 $\mu$ m를 구현하기에 용이한 contact printing 방식인 Karl Suss 회사의 contact aligner 장비(KSM MJB3)를 사용하였다. 이 장비의 광 파장은 365nm, 광 에너지 세기는 8.0W/cm<sup>2</sup>이고 출력은 초기값이 274W이고 최대 400W로서 광 에너지의 세기를 항상 일정하게 방출하기 위한 영역에서 노출 시간 동안 자동적으로 조절된다.

광 리소그래피에 사용되는 PR은 빛이 쬐어진 부분이 현상되는 positive type과 이와 반대인 negative type이 있다. 그러나 negative type은 positive type에 비해 선 폭의 제한이 크고 현상된 PR의 가장자리의 형태가 나빠서 Lift-off 공정 등 미세 소자의 구현에 많은 문제점이 있어 본 실험에서는 positive type인 Hoechst 회사의 AZ5214E를 사용하였다. 또한 AZ5214E PR을

현상하기 위한 현상액은 Hoechst회사의 AZ500MIF을 사용하였다.

PR의 상태에 따라 PR 코팅 후 표면에 기포와 같은 흔적 등이 나타날 수 있는데 이러한 결과에 인해 소자 패턴이 불균일하게 현상될 수 있어서 그 다음의 광 리소그래피 공정 과정에서 정렬 시 많은 어려움을 수반한다. 그래서 필터를 이용하여 PR을 정제하고 PR코팅 시 가능한 시료를 spin-coator의 chuck 한가운데 올려 놓고 사용하면 기포의 흔적 같은 것이 거의 안 나타나므로 균일한 코팅 된 PR 표면을 얻으며 현상도 균일하게 깨끗이 이루어진다.

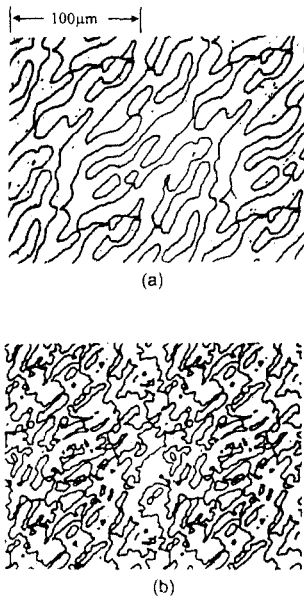


그림 4. 광 리소그래피로 제작된 위상홀로그래프의 현미경사진.  
 (a) 위상차가  $\pi$ 인 주 홀로그래프,  
 (b) 위상차가  $\pi/2$ 인 보조 홀로그래프.  
 Fig 4. The microscopic picture of the fabricated phase holograms.  
 (a) Main hologram of phase  $\pi$ ,  
 (b) Subhologram of phase  $\pi/2$

그림 4는 광리소그래피를 이용해 제작된 위상 홀로그래프를 현미경으로 찍은 사진을 나타낸다. 그림 4(a)는 위상차가  $\pi$ 인 홀로그래프를 나타내고, 그림 4(b)는 위상차가  $\pi/2$ 인 홀로그래프 사진이다. 이 두개의 홀로

그램을 결합시켜 위상이 0,  $\pi/2$ ,  $\pi$ ,  $3\pi/2$ 인 다중 위상 홀로그래프를 생성하도록 설계 제작되었다. 그림 5는 제작된 홀로그래프를 이용하여 저장된 영상을 광학적으로 재생시키는 실험 장치도이다. 레이저 평행광이 CBPH에 조사되면 CBPH를 통과한 회절빔은 그 뒤에 있는 렌즈를 통해 푸리에 변환된 상을 얻으며 이 상은 PC와 연결된 CCD카메라와 framegrabber를 통해 모니터에서 최종 결과를 확인한다.

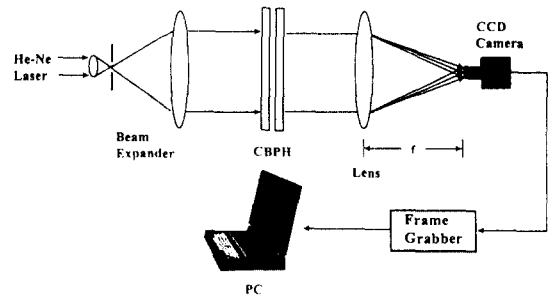


그림 5. 홀로그래프 영상을 광학적으로 재생시키는 실험 장치도.  
 Fig 5. Experimental setup of generating holographic images optically.

그림 6의 (a)는 (의 위상차를 갖게 설계된 이진 위상 홀로그래프로부터 얻어진 시뮬레이션 결과이고 그림 6의 (b)는  $\pi$ 의 위상차를 갖는 BPH1과  $\pi/2$ 의 위상차를 갖는 BPH2를 결합시켜 얻어지는 시뮬레이션 결과이다. 그림 7의 (a)는 실제로 제작된  $\pi$ 의 위상차를 갖는 이진 위상 홀로그래프로부터 실험으로 얻어진 영상이고 (b)는 이 홀로그래프와 결합되는  $\pi/2$  위상차를 갖는 보조 홀로그래프로부터 재생된 영상이다. (c)는 이 두개의 홀로그래프를 결합한 다중 위상 홀로그래프로부터 얻어진 영상을 나타낸다. 그림 7(a)를 보면 0차 빔은 전혀 없어 위상차가 정확하게  $\pi$ 가 되었음을 알 수 있고 그림 7(b)는 0차빔이 전체의 절반정도를 차지함을 알 수 있다. 그리고 그림 7(c)는 이진 위상 홀로그래프의 영상에서 항상 나타나는 대칭상이 아니고 다중 위상 홀로그래프에서 얻을 수 있는 영상을 보여준다.

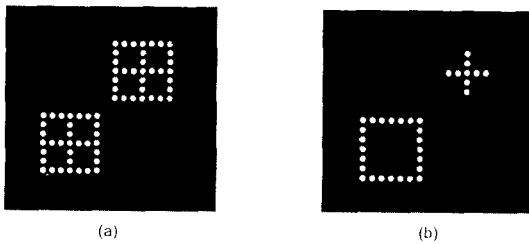


그림 6. 시뮬레이션 결과.

- (a)  $\pi$  위상차의 주 홀로그램으로부터 재생된 영상
- (b) 두개의 홀로그램을 결합한 다중 위상 홀로그램으로부터 얻어진 영상

Fig 6. Simulation result

- (a) Result obtained from the main hologram ( $0, \pi$ ).
- (b) Result obtained from the combined hologram ( $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ ).

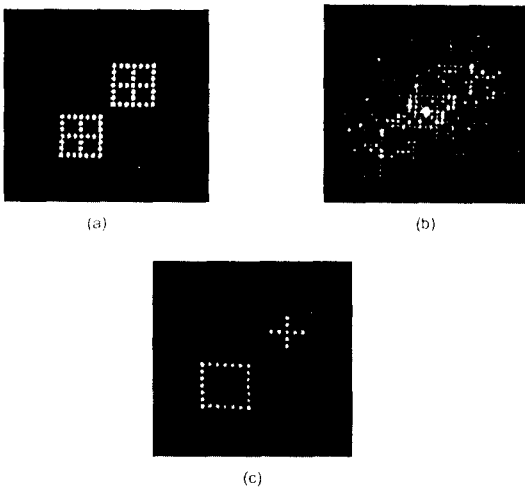


그림 7. 실험 결과.

- (a)  $\pi$  위상차의 주 홀로그램으로부터 재생된 영상.
- (b)  $\pi/2$  위상차의 홀로그램으로부터 재생된 영상.
- (c) (a)와 (b) 두개의 홀로그램을 결합한 다중 위상 홀로그램으로부터 얻어진 영상.

Fig 7. Experimental result

- (a) Result obtained from the main hologram ( $0, \pi$ ).
- (b) Result obtained from the sub hologram ( $0, \pi/2$ ).
- (c) Result obtained from the combined hologram ( $0, \pi/2, \pi, 3\pi/2$ ).

## V. 결 론

본 논문에서는 광 리소그래피 방법에 의한 다중 위상 홀로그램을 제작하기 위해 위상이 각각  $\pi$ 와  $\pi/2$ 가 되기 위한 조건을 구하고, 이 결과를 적용하여 정확한 위상차를 갖는 결합형 이진 위상 홀로그램을 제작하였다. 홀로그램의 0차 회절빔과 제작된 홀로그램의 위상차의 관계를 이용하면 상당히 정확한 위상차를 얻을 수 있다. 실험으로 결합형 이진 위상 홀로그램을 구현함으로써 역대정상 또는 불필요한 부분을 효과적으로 제거하는 결과를 얻었다.

## 참 고 문 헌

1. H. Dammann and K. Gortler, "High efficiency in-line multiple imaging by means of phase hologram," *Opt. Comm.* Vol.3, pp.312-315, 1971.
2. R. L. Morrison, S. L Walker, and T.J. Cloon, "Beam array generation and holographic interconnection in a free-space optical network," *Appl. Opt.* Vol.32, No.14, pp.2512-2518, 1993.
3. J. N. Mait, "Design of Dammann gratings for two-dimensional, nonseparable, noncentrosymmetric responses," *Opt. Lett.* Vol.14, No.4, pp.196-198, 1989.
4. D. J. Lee, N. Kim, H. H. Suh, and E.-H. Lee, "Dynamic optical interconnection in free-space switching system," *Opt. Rev.* Vol.3, No.6B, pp. 475-477, 1996.
5. H. H. Suh, C. H. Kwak, and E. H. Lee, "Combined binary-phase holograms for free-space optical interconnection," *Opt. Lett.* Vol.20, No.20, pp.2131-2133, 1995.
6. S. H. Song et al., "3-Dimensionally Integrated Planar Optics for 100Gb/s Optical Packet Address Detection," *ETRI Journal* Vol.17, No.2, pp.1-10, 1995.



강 봉 균(Bong-Gyun Kang) 정회원  
1969년 7월 13일생  
1993년 2월: 충북대학교 정보통신공학과 졸업(공학사)  
1992년 11월~1995년 7월: LG전자 통신기기 SBU 연구원

1997년 2월~1998년 2월: 한국전자통신연구원 기초기술연구부 위촉연구원

1998년 2월: 충북대학교 대학원 정보통신공학과 졸업(공학석사)

1998년 3월~현재: 한국정보통신대학원 통신공학부 재학(박사과정), 한국전자통신연구원 광교환연구실 위촉연구원

※주관심분야: Diffraction optics, Photonics switching, Computer generated holography, Optical information processing, Optical Computing.



서 호 형(Ho-Hyung Suh) 정회원  
1962년 10월 13일생  
1985년 8월: 전남대학교 물리학과 졸업(이학사)  
1988년 2월: 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학석사)  
1991년 8월: 한국과학기술원 물리학과 졸업(이학박사)

리학과 졸업(이학박사)

1992년 2월~현재: 한국전자통신연구원 선임연구원

※주관심분야: Optical Holography, Computer generated holography, Diffractive optics, Optical information processing, Optical Computing, Optical Neural Network.



이 덕 희(Duck-Hee Lee) 정회원  
1972년 12월 20일생  
1995년 2월: 공주대학교 물리학과(이학사)  
1997년 2월: 공주대학교 대학원 물리학과(이학석사)  
1979년 3월~현재: 공주대학교 대학원 물리학과 박사과정 재학

1997년 3월~현재: 한국전자통신연구원 기초기술연구부 위촉연구원

※주관심분야: Optical information processing, Computer generated holography, photolithography

김 남(Nam Kim)

정회원

통신학회논문지 제22권 5호(1997) 참조